

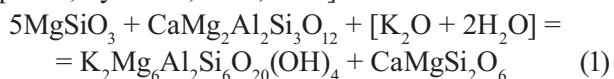
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ПИРОП + ЭНСТАТИТ = ФЛОГОПИТ В ПРИСУТСТВИИ ФЛЮИДА H_2O -KCl ПРИ 5 ГПа В ПРИЛОЖЕНИИ К ПРОБЛЕМЕ МОДАЛЬНОГО МАНТИЙНОГО МЕТАСОМАТОЗА

Лиманов Е.В., Бутвина В.Г., Сафонов О.Г.

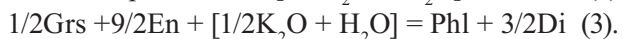
Институт экспериментальной минералогии РАН, г. Черноголовка, limanov.z@gmail.com

Концепция мантийного метасоматоза была разработана в 1970-1980-х годах на основе исследований верхнемантийных ксенолитов в кимберлитах и щелочных базальтах [Harte, 1983; O'Reilly, Griffin, 2013; Соболев, 1974; Доусон, 1983]. Согласно ей, преобразования пород мантии в ходе их взаимодействия с внешними флюидами и расплавами (вне зависимости от их состава и происхождения), приводит к образованию минералов, нехарактерных для обычных перидотитов (амфибола, флогопита, апатита, карбонатов, сульфидов, титанита, ильменита и т.д.), что является сутью процесса модального мантийного метасоматоза. Активности H_2O и/или CO_2 рассматриваются как наиболее важные факторы модального мантийного метасоматоза [O'Reilly, Griffin, 2013 и ссылки в этой работе]. Однако минералогические и геохимические данные указывают также на активную роль щелочных компонентов, прежде всего K и Na, в этом процессе. Эти компоненты растворены в мантийных флюидах в виде различных солевых составляющих, среди которых особую роль играют хлориды [напр. Сафонов, Бутвина, 2016].

Типичным минеральным индикатором модального мантийного метасоматоза является флогопит. Появление этого минерала в мантийных породах в результате их взаимодействия с калиевыми водными флюидами объясняется реакцией [Kushiro, Aoki, 1968; Сафонов, Бутвина, 2013, 2016]



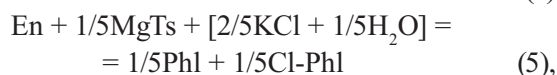
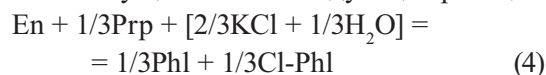
т.е. $5En + Grt + [K_2O + 2H_2O] = Phl + Di$, которая является комбинацией двух краевых реакций



В этих модельных реакциях щелочной компонент представлен для наглядности в виде K_2O . Однако, в реальных флюидах K присутствует в виде солевых компонентов – хлоридов, карбонатов и т.д. В данной работе приведены предварительные результаты исследования при давлении 5 ГПа и температурах 900-1250°C реакции (2) в присутствии флюида H_2O -KCl с исходными $X_{KCl} = KCl / (KCl + H_2O)$ от 0.05 до 0.4. В качестве исходной была использована смесь пироп (гелевая смесь), брусита и кварца со следующим со-

ставом (мас. %): 47.82 SiO_2 , 32.18 MgO , 11.76 Al_2O_3 , 8.23 H_2O . В эту смесь добавлялся KCl в расчете на необходимые X_{KCl} . В продуктах экспериментов без участия KCl образуются гранат и Al-содержащий ортопироксен. В присутствии KCl в исходном флюиде в продуктах опытов при 1000 и 900°C появляется флогопит. Флогопит отсутствует при 1250°C. Увеличение исходной концентрации KCl сопровождается уменьшением количества граната и ортопироксена в продуктах опытов, так что в опытах с флюидами с $X_{KCl} = 0.4$ гранат и ортопироксен редки или отсутствуют, а флогопит является доминирующей фазой. Эксперименты при 1000°C показывают, что пироп является первой фазой, исчезающей при увеличении концентрации KCl во флюиде, а затем исчезает Al-содержащий ортопироксен. Фазовые соотношения демонстрируют, что реакции флогопитизации имеют положительный наклон в координатах T- X_{KCl} (рост концентрации соли ведет к расширению стабильности флогопита в область более высоких температур) (табл. 1).

Изученные взаимоотношения указывают на последовательное осуществление следующих реакций



где MgTs – Mg-молекула Чермака ($MgAl_2SiO_6$), а Cl-Phl – минерал твердого раствора флогопита $KMg_3AlSi_3O_{10}Cl_2$. Реакция (5) проявляется в снижении содержания Al в ортопироксене с увеличением X_{KCl} в стартовом флюиде (Рис. 1, а). С увеличением X_{KCl} в стартовом флюиде также растет содержание Cl в слюде, достигая 0.6-0.8 мас. % при $X_{KCl} = 0.2-0.4$ (Рис. 1, б). Такие концентрации Cl в синтетическом флогопите соответствуют концентрациям хлора во флогопитах метасоматизированных перидотитов и включений в алмазах [см. рис. 3 в Сафонов, Бутвина, 2013]. В продуктах ряда опытов при $X_{KCl} > 0.1$ появляется кианит (Ky), образование которого, возможно, также связано с разложением пироп в присутствии флюида H_2O -KCl по реакции

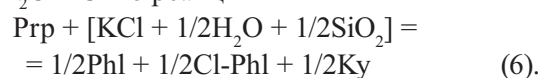


Таблица 1. Условия и продукты экспериментов по изучению реакции (2) при 5 ГПа

№ образца	T, °C	Время, час.	X _{KCl} (KCl/(KCl+H ₂ O))	Продукты опытов
ПЕН-1	1250	24	0	Оpx+Grt+Q ¹
ПЕН-2	1250	24	0,05	Ol+Grt+Q
ПЕН-3	1250	24	0,1	Оpx+Ky+Q
ПЕН-4	1250	24	0,2	Оpx+Grt+Ky+Q
ПЕН-6	1000	48	0	Оpx+Grt+Q
ПЕН-8	1000	48	0,05	Оpx+Grt+Phl+Q?
ПЕН-7,14	1000	48	0,1	Оpx+Phl+Q?
ПЕН-9	1000	48	0,2	Оpx+Phl+Ky+Q?
ПЕН-11	1000	48	0,4	Phl+Q?
ПЕН-12	900	48	0,05	Оpx+Grt+Phl
ПЕН-16	900	48	0,1	Оpx+Grt+Phl
ПЕН-13	900	48	0,2	Оpx+Grt+Ky+Phl
ПЕН-15	900	48	0,4	Оpx+Grt+Phl

Примечание. ¹Q-продукты закалки расплава, Q? – флогопитоподобная раскристаллизованная фаза.

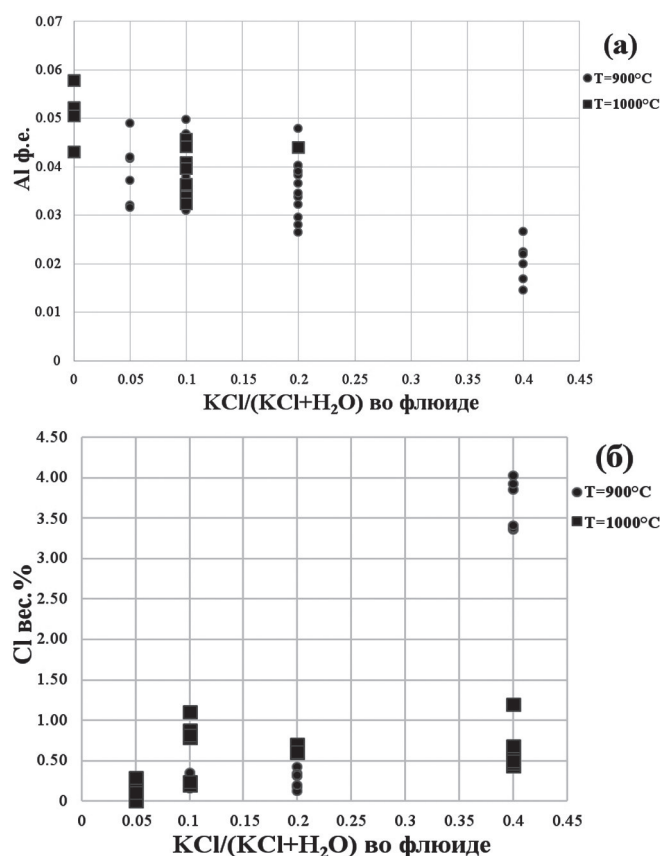


Рис. 1. а) Зависимость содержания Al (ф.е.) в ортопироксене от количества KCl во флюиде при 900°C и 1000°C; б) зависимость содержания Cl (вес. %) во флогопите от количества KCl во флюиде 900°C и 1000°C

Присутствие SiO₂ во флюиде может быть обусловлено как изначальным небольшим избытком этого компонента в стартовых смесях, так и достаточно высокой растворимостью SiO₂ во флюиде в равновесии с ассоциацией Phl + En [напр. Schneider, Eggler,

1986]. О высокой активности SiO₂ во флюиде косвенно свидетельствует отсутствие форстерита в продуктах опытов (он отмечен лишь в одном опыте) – типичного продукта растворения флогопита в водном флюиде [напр. Schneider, Eggler, 1986].

Таким образом, эксперименты показали, что соотношения концентраций Al в ортопироксене и Cl во флогопите согласно реакции (5) являются хорошими показателями активности KCl во флюиде. Эти эффекты могут быть в дальнейшем использованы для количественной оценки этой активности, а, значит, и концентрации KCl в водно-солевых флюидах в процессах модального мантийного метасоматоза.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-05-00266).

ЛИТЕРАТУРА

1. Доусон Дж. Кимберлиты и ксенолиты в них. // М.: Мир, 1983, с. 300. URL: <http://www.geokniga.org/books/362?page=1054>
2. Сафонов О.Г., Бутвина В.Г. Взаимодействие модельного перидотита с флюидом H₂O-KCl: эксперимент при давлении 1.9 ГПа и его приложение к процессам верхнемантийного метасоматоза. // Петрология, 2013, Т. 21, № 6, с. 654-672. URL: https://www.researchgate.net/scientific-contributions/2061356307_O_G_Safonov
3. Сафонов О.Г., Бутвина В.Г. Реакции – индикаторы активности K и Na в верхней мантии: природные и экспериментальные данные, термодинамическое моделирование. // Геохимия, 2016, №10, с. 893-908. URL: https://www.researchgate.net/publication/308833645_Reakcii_-_indikatory_aktivnosti_K_i_Na_v_verhnej_mantii_prirodnye_i_eksperimentalnye_dannye_termodinamicheskoe_modelirovanie
4. Соболев Н.В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. // Новосибирск, Наука, 1974, с. 264. URL: <http://www.geokniga.org/books/18184>
5. Harte B. Mantle peridotites and processes—the kimberlite sample. // Continental Basalts and Mantle Xenoliths (Eds. Hawkesworth, C. J. and Norry M. J), Cheshire: Shiva, 1983, p. 46-91.
6. O'Reilly S.Y., Griffin W.L. Mantle metasomatism. // Metasomatism and the chemical transformation of rock (Eds. Harlov D.E., Austerheim H.), Berlin Heidelberg Springer, 2013, p. 471-533.
7. Schneider, M. E., Eggler, D. H. Fluids in equilibrium with peridotite minerals: implications for mantle metasomatism. // Geochimica et Cosmochimica Acta, 1986, v. 50, №5, p. 711-724.